宽带（中频）电力线载波通信技术规模化应用研究

张春晖[1]　张震[2]

（1．国 网 山 东 省 电 力 公 司 ，　山东 济南　250001；2．华能济南黄台发电有限公司，山东 济南 250100）

摘　要：本文主要介绍了 IEEE1901.1 宽带（中频）电力线载波通信国际标准及其在国网用电信息采集系统中的应用。该标准由中国电科院发布，填补了中频电力线载波通信在智能电网领域国际标准的空白，提升了中国在物联网领域的国际影响力和话语权。同时，国网重视宽带（中频）电力线载波通信技术的开发，主要是因为窄带（低速）载波通信方式的通信速率慢，自动采集成功率低，成为本地通信的技术瓶颈。本文还介绍了国网用电信息采集系统建设的投资情况，以及宽带（中频）载波通信速率需满足的用电信息采集要求。

关键词：宽带　电力线载波通信技术　用电信息采集系统

中图分类号：TM933.4

Research on the large-scale application of broadband (intermediate frequency) power line carrier communication technology

ZHANG Chunhui[1]　ZHANG Zhen[2]

(1. State Grid Shandong Electric Power Company,Jinan , Shandong 250001 , China;2.Huaneng Jinan Huangtai Power Generation Co. , Ltd. , Jinan , shandong 250100 , China)

Abstract: This paper mainly introduces the IEEE1901.1 international standard for broadband (intermediate frequency) power line carrier communication and its application in the power consumption information acquisition system of the State Grid. The standard was issued by the China Electric Power Research Institute, which fills the gap in the international standard of medium frequency power line carrier communication in the field of smart grid, and enhances China's international influence and voice in the field of Internet of Things. At the same time, the State Grid attaches great importance to the development of broadband (medium frequency) power line carrier communication technology, mainly because the communication rate of narrowband (low-speed) carrier communication mode is slow, and the success rate of automatic acquisition is low, which has become a technical bottleneck for local communication. This paper also introduces the investment in the construction of the State Grid electricity information collection system, as well as the power consumption information collection requirements that need to be met by the broadband (intermediate frequency) carrier communication rate.

Key words:broadband Power Line Carrier Communication Technology Electricity consumption information collection system

0 引言

近期，IEEE1901.1 宽带（中频）电力线载波通信国际标准由中国电科院发布，或将引发国网用电信息采集系统本地通信方式的更新，需要引起关注。

1）IEEE1901.1 国际标准

网上报道:中国电科院发布”IEEE1901.1 国际标准”

— 2018 年 5 月 22 日，由中国电科院、国网信通产业集团等企业联合制订的 IEEE1901.1《适用于智能电网应用的中频（低于 12MHz）电力线载波通信技术标准》正式发布实施。

—该标准是以国网 Q/GDW 11612 《低压电力线宽带载波通信互联互通技术规范》为基础，大量使用创新技术，提出以 OFDM、双二元 Turbo 编码、时频分集拷贝为核心的物理层通信技术规范，以及以信道时序优化、树形组网、多台区网络协调为代表的数据链路层技术规范。

该标准的发布，填补了中频电力线载波通信应用在智能电网领域国际标准的空白，提升我国在物联网领域的国际影响力和话语权。

— IEEE1901.1 标准通过构建高带宽、高可靠、低时延、低成本的电力线通信网络，支持远程自动抄表、配电台区监测等多种应用场景，实现以电力线载波通信为基础的物联网技术在能源互联网中的有效应用。

该标准将促进电力线载波通信芯片、通信模组、智能终端全产业的发展。

2）国网，宽带（中频）电力线载波通信技术合作开发进程

国网为何重视宽带（中频）电力线载波通信技术的开发?

国网的用电信息采集系统建设，从 2010 年开始，2017 年基本完成，用电信息采集 4.3 亿户，覆盖率 99%，用于用电信息采集设备及用户工程投资巨额，约 510 亿元。其中，70%的本地通信方式采用窄带（低速）电力线载波通信技术。经过多年的运行，窄带（低速）载波通信方式的通信速率慢，自动采集成功率低，有的居民小区的单相电表，24h 都抄不到表，成为本地通信的技术瓶颈，一时难以解决。由此，国网利用配电网户户通电电力线的资源优势，将宽带（中频）电力线载波通信实用化应用，列为通信新技术重点开发课题。

根据中国电科院专家提出的配电、用电管理通信流量的预测:宽带（中频）载波通信速率需满足下列用电信息采集的要求:

• AMR/AMI 的通信速率:1.2/20 k bps
•负荷管理 10 k bps
•扩大到配电业务，配电自动化、报警管理、DG 均为 10 k bps；
•配电视频监控要求 1 M bps；配电新提出的其它视频通信要求。

— 2012 年 7 月，国网”新一代智能电力线载波通信关键技术研究”项目启动。该智能 PLC 是具有跨频带（150 k Hz---10 M Hz）、频率自认知、自适应、自组网、协调通信功能的载波通信技术。

该项目由中国电科院牵头，国网通信公司、南瑞集团参与。

2014 年 11 月，该项目通过验收。其智能 PLC 系统在绍兴、长春电网的中、低压电力线路上开展了实际测试与验证。

— 2014 年 7 月，在本文作者组织召开的《进口高端电能全性能研究》课题（长沙:威胜）技术交流会议上，华为海思公司介绍了自主设计的 Hi3911 型宽带（中频）载波芯片，频段:2---12MHz,通信速率 200k---14M bps。

由此估计:华为海思公司的中频载波芯片推出时间还要更喜欢早一点。

— 2014 年 10 月，国网召开低压电力线宽带载波通信技术标准研讨会，提出宽带载波通信单元技术规范、检验规范、通信协议（初稿）。

— 2014 年 11 月，在本文作者组织召开的电力线载波通信新标准、新产品（青岛:东软）技术交流会议上，重点交流国际/国内宽带与 OFDM 窄带载波通信新技术。

— 2015 年，据了解，华为海思公司将（中频载波芯片）物理层及通信协议在国网宽带载波通信技术企业标准中进行共享。各宽带载波芯片厂家在芯片物理层统一的前提下，自主开发宽带载波产品。

— 2016 年，在本文作者组织召开的当前电表行业发展热点问题（重庆华立）讨论会上，重庆市电科院介绍了在大型公变台区（约 700 户）进行现场宽带载波通信互联互通测试结果。

— 2017 年，江苏省电科院完成宽带载波模块互联互通测试，验证宽带载波模块在架空线路、预埋电缆、城市及农村等现场复杂运行工况下的互联互通情况。

— 2017 年，重庆邮电大学、重庆市电科院《基于 System Generator 的宽带电力线脉冲噪声实现方法》提出:实现基于 FPGA 的 Class A 噪声发生器，将有利于宽带 PLC 产品抗噪声性能评估测试。

— 2017 年，国网发布:《低压电力线宽带载波通信互联互通技术规范（Q/GDW 11612---2016）》

据了解，该标准分为 6 个部分:

第 1 部分:总则

第 2 部分:技术要求
第 3 部分:检验方法
第 4 部分:物理层及通信协议
第 5 部分:链路层及通信协议
第 6 部分:应用层技术要求

— 2018 年 5 月，中国电科院发布:《适用于智能电网应用的中频（低于 12MHz）电力线载波通信技术标准（IEEE1901.1）》

3）青岛东软公司:推出符合 IEEE1901.1 国际标准的宽带（中频）载波通信芯片，并获得国际通行证

网上报道:”IEEE 发布载波新标准，东软载波芯片获国际通行证”

—东软推出新的载波（中频）芯片的型号:
Eastsoft SSC1667。现在，已有至少 100 万颗芯片在网使用，并不断深化应用，拥有超级电容停电上报台区自动识别等功能。

—东软 SSC1667 型宽带（中频）载波通信芯片的设计性能

• 40nm Flash 工艺，SOC 芯片集成度高，Flash 内置，外围成本低
• OFDM 正交频分复用调制技术
•通信速率 6MHz
•通信频带 0.7MHz---12MHz
•功耗更低:静态功耗 0.7W/动态 1W
•支持新的/老的国网宽带互联互通标准，支持频段切换功能
• 4 频段、6 种模式，具体支持的标准和频段:（略）。

4）点评

—我国在电力线载波通信技术国际标准制订方面实现零的突破

在国际上，由中国电科院等单位联合制订的《适用于智能电网应用的中频（低于 12MHz）电力线载波通信技术标准（IEEE1901.1）》，填补了中频电力线载波通信应用在智能电网领域国际标准的空白。

经查证:

•国际上，宽带（高频:2MHz 及以上）电力线载波通信标准的制订:先期研究的重点领域是智能家居网络，后来面向家庭数字多媒体、视频、音频、数据、能源智能化控制等通信的需求。这方面，Home Plug（家居即插）联盟提出的宽带电力线载波通信技术标准较早、面广，其中的部分宽带载波通信标准，已经转换成 IEEE 国际标准:

从 2001 年的 Home Plug 1.0 标准，数据速率最高达 14M bps，主要定位于家庭网络应用，也有用于低压宽带接入；2004 年的 Home Plug 1.0 ---Turbo 标准，提升数据速率，最高数据速率 85M bps,；2005 年的 Home Plug AV 标准，频段:1.8---25MHz,最高数据速率 200M bps,用于传输视频、音频、数据；2006 年的 Home Plug Green PHY 标准，是为家庭和建筑物中嵌入式智慧能源和自动化应用而设计，它与 IEEE1901/Home Plug AV 标准的电力线网络协议互操作，并具有将数据速率由 200M bps 降低为低速率（注:10M bps）、低功耗（注:功耗降低 80%）、低成本和宽广家庭覆盖能力等特性。

• 国际上的窄带（低频:500kHz 及以下）OFDM 电力线载波通信标准的制订:

2009 年，MAXIM 公司发布 G3 标准

2011 年，PRIME 联盟成立，发布 G3---PLC 标准；ITU（国际电信联盟）的 G9955 兼容 G3---PLC 物理层；IEEE P 1901.2 兼容 G3---PLC 物理层

2012 年，G3---PLC 更新，由 ITUG9903 发布；10 月发布更新版本

2013 年，ITUG9903 发布更新版本；IEEE1901.2 投票通过成为正式版本

2014 年，ITU G9903 发布再更新版本。

这些窄带通信标准，使用 OFDM 的低频窄带载波通信技术，以较高的传输速率及频段具有弹性等优势而快速兴起，主要用于自动抄表管理、智能家居网络，频段:10k---500k Hz ，数据传输速率 20k---150k bps。

• 以上情况说明:

a1 国际上，长期以来，适用于智能电网用电信息采集的中频（150k---12MHz）电力线载波通信方式，一直未推出国际标准。

a2 国内，自 2009 年国网提出开展电力用户用电信息采集系统建设之后，对适用于智能电网应用的中频（低于 12MHz）电力线载波通信技术进行多方位的合作研究。

IEEE1901.1 国际标准的提出，是基于国内通过几年的宽带（中频）电力线载波通信的中频载波芯片开发、现场宽带载波通信干扰性能测试、宽带载波通信互联互联讨论、宽带载波通信标准制订等多方位的合作创新、系统研究成果。

—从应用的视角，中频（低于 12MHz）电力线载波通信有哪些技术难点与争议?

国际上，迟迟未能推出适用于智能电网应用的中频（低于 12MHz）电力线载波通信国际标准，估计主要有应用技术难点与争议。

经综合 2014 年青岛电力线载波通信新标准/新产品技术交流会议、2016 年重庆电表行业发展热点问题讨论会议的情况，本文作者提出中频电力线载波通信应用技术开发的 3 个难点与争议问题:

其一，中频电力线载波通信双向高频干扰。网上报道:2013 年 6 月，ITU---R（国际电信联盟无线电通信部门）发布《电力线通信系统对工作在 80MHz 以下的无线电通信系统的影响（ITU---R　SM.2158---3 报告）》，对电力线载波通信方式提出质疑。

注:SM 系列，频谱管理。

（说明:目前尚未看到国内有关部门对 ITU--R　SM.2158---3 报告的评论）

其二，配网预埋电缆、无功补偿装置对中频电力线载波通信影响的严重程度与改进措施的合理性评估。经现场实测，有时将集中器布置在
无功补偿装置之前（电源侧），自动抄表成功率极低甚至抄不到表。

其三，宽带载波通信互联互通问题。据了解，在国内，各宽带载波芯片厂家的中频载波芯片物理层及通信协议已经统一，网络的路径选择和中继功能还是各不相同，在现场实际的组网和抄表时，互联互通的效果并不理想。

针对以上难点与争议问题，据了解，国网计量部门统一组织了现场测试分析，提出一些改进措施。但是从期刊、网上很少见到这方面的报道。

这次，IEEE1901.1 国际标准提出中频（低于 12MHz）电力线载波通信网络的物理层、数据链路层技术规范，其大量使用的创新技术，提高了通信信号（位、帧）的收发质量和数据传输性能。据了解，随后国内有意向继续合作开发中频载波通信网络的网络层及其它层级的技术规范，期望在组网技术、路由算法、数据传输、互联互通等深层次通信技术进行开发统一，实现大幅度提升用电信息采集速率、自动采集成功率，化解中频载波通信质量引发的应用难题。

同时，本文作者提出尚需合作研究制订另一个重要标准:中频电力线载波通信信道监测、管理技术规范。该技术规范制订的建议，在本文第 5）部分叙述。

中频电力线载波通信的高质量，只有从中频载波通信网络技术性能开发与信道监测管理两个方面措施相结合，才能较好地化解中频电力线载波通信应用的 3 个难题。

—关注中频载波通信芯片的技术性能，按 IEEE1901.1 标准进行测试、认证工作。据了解，国内已经建立起这方面的实验室，这在电表载波通信领域还是首次。

—载波模块价位。与窄带（低速）载波模块相比，目前的中频载波模块价位还高，将影响其大规模推广应用。但是，可以预期，随着中频载波模块应用量不断增长，其价位可以降到合理水准。

—拓展载波模块更新资金渠道

2010---2017 年，国网用电信息采集设备的招标量:集中器约 464 万台，采集器约 5115 万台。如集中器、采集器的窄带载波模块 70%，更新为中频载波模块，按目前的中频载波模块价位估计，集中器的新模块投资 6.5 亿元，采集器的新模块投资 25 亿元，单相载波表的新模块（按国网供电服务区 4.57 亿户的 15%估算）投资 34 亿元。以上 3 项合计，国网采用中频载波模块需投资 65.5 亿元。按传统电子式电表 8 年轮换周期，每年需载波模块更新资金 8.2 亿元。

2017 年底，国网用电信息采集系统建设基本完成。现在要申请进行用电信息采集载波模块的更新资金，化解本地通信技术瓶颈，这条资金渠道是否可以走通，还难以预料。国网，当前投资的重点还是特高压工程与推进配电网智能化建设。

目前，居民用电低压电网的主动故障报警与抢修，电能质量监测与控制，配电网与用户之间实用互动功能开发，是国网推进智能配电网建设的短板。由此，通过各级电网配电管理部门提出要求：拓展用电信息采集系统配电用新功能，申请中频载波模块购置资金，则是另一条合理渠道。

5）国内，中频电力线载波通信信道监测、管理技术规范制订的建议

国际上，EN50065:《3kHz 至 148.5kHz 频段的低压电气装置上的信号传输》：

第 1 部分：　　　　　　一般要求、频带和电磁骚扰

第 2---1 部分：95kHz 至 148.5kHz 频段用于住宅、商业和轻工业环境下工作的交流电源通信设备与系统的抗扰度要求

第 2---2 部分：95kHz 至 148.5kHz 频段用于工业环境下工作的交流电源通信设备与系统的抗扰度要求

第 2---3 部分：3kHz 至 95kHz 频段用于电力提供商和分销商工作的交流电源通信设备与系统的抗扰度要求

第 4---1 部分： 低压去藕滤波器 --- 通用规范

第 4---2 部分： 低压去藕滤波器 --- 安全要求

第 4---3 部分： 低压去藕滤波器 --- 输入滤波器

第 4---4 部分： 低压去藕滤波器 --- 阻抗滤波器

第 4---5 部分： 低压去藕滤波器 --- 分段滤波器

第 4---6 部分:低压去藕滤波器 --- 相位藕合器

第 7 部分：　　　　　　设备阻抗

国内:中频电力线载波通信信道监测、管理技术规范的制订，可参考 EN60065 系列标准，结合中频电力线载波通信的特征，需要涵盖中频频带和双向电磁骚扰限值；中频载波信号衰减及信噪比测量，集中器选址勘测；双向高频干扰监测；
各类应用环境的抗传导、幅射干扰要求；预埋电缆、无功补偿设备对中频载波通信影响测试及处理方案；同频干扰测试及改进方法；各类去藕滤波器；设备阻抗；双向通信与网关技术规范；其它要求。

参考文献

[1] 张春晖 张震　　宽带（中频）电力线载波通信技术规模化应用研究 2018 年 6 月 21 日

作者简介：　张春晖　　男，　(1938-)，　从事电能计量技术研究。

通讯作者：　张震　　　男，　　(1977-)，从事电能计量技术研究　721047546@qq.com